

Elektronik

für Elektroniker im 1. Lehrjahr

von

Alexander Wenk

Quellen:

Unterlagen von Urs-Peter Quitt
Vogel Fachbücher Elektronik 1-3
Elektronik Unterlagen HTL Brugg-Windisch
und weitere ☺

Inhaltsverzeichnis

<i>Einleitung</i>	<i>1</i>
<i>Einführung zur Diode</i>	<i>1</i>
<i>Halbleitermaterialien</i>	<i>3</i>
P-Dotierung	4
N-Dotierung	5
<i>Die Halbleiterdiode</i>	<i>6</i>
Die Diode in Schaltungen	8
Abschlussübungen zur Vertiefung	10
<i>Die Zenerdiode</i>	<i>12</i>
Laborversuch: Kennlinie der Zenerdiode	13
Aufgabenstellung:	13
Warum eine Stabilisierung?	14
Spannungsstabilisierung mit Zenerdiode	15
Beispiel zur Z-Dioden-Stabilisierung	16
Weitere Übungen	17
Differentieller Widerstand der Zenerdiode	19

Einleitung

Bis jetzt habt ihr Elektrotechnik-Unterricht genossen. Unser neues Fach heisst nun Elektronik. Wie unterscheiden sich aber Elektrotechnik und Elektronik? Was haben sie gemeinsam?

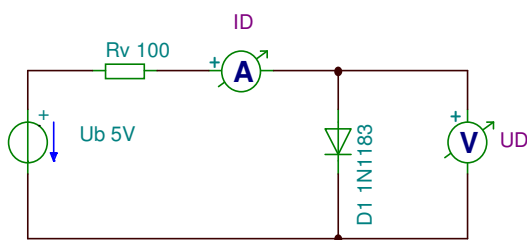
Beide Gebiete befassen sich mit Elektrizität. Soviel ist sicher. Und Elektronik kommt nicht ohne elektrotechnische Kenntnisse durch. Auch Elektronik benötigt, Widerstände, Spannungsquellen etc.

Durch was unterscheiden sie sich also? Elektrotechnik ist die Lehre der linearen, passiven Bauteile, Elektronik hingegen von den nichtlinearen und von den aktiven. Der Unterschied zwischen aktiven und passiven Bauteilen ist leicht zu erklären: Passive Bauteile haben nebst ihren Hauptanschlüssen keine externe Energiezufuhr, also keine eigene Stromversorgung. Aktive Bauteile haben eine solche. Deshalb gelingt es mit solchen Elementen, Verstärker zu bauen.

Was ist nun aber der Unterschied zwischen linearen und nichtlinearen Bauteilen? Diesen Unterschied will ich noch nicht verraten, sondern Euch gleich mit einem Versuch kennen lernen lassen:

Einführung zur Diode

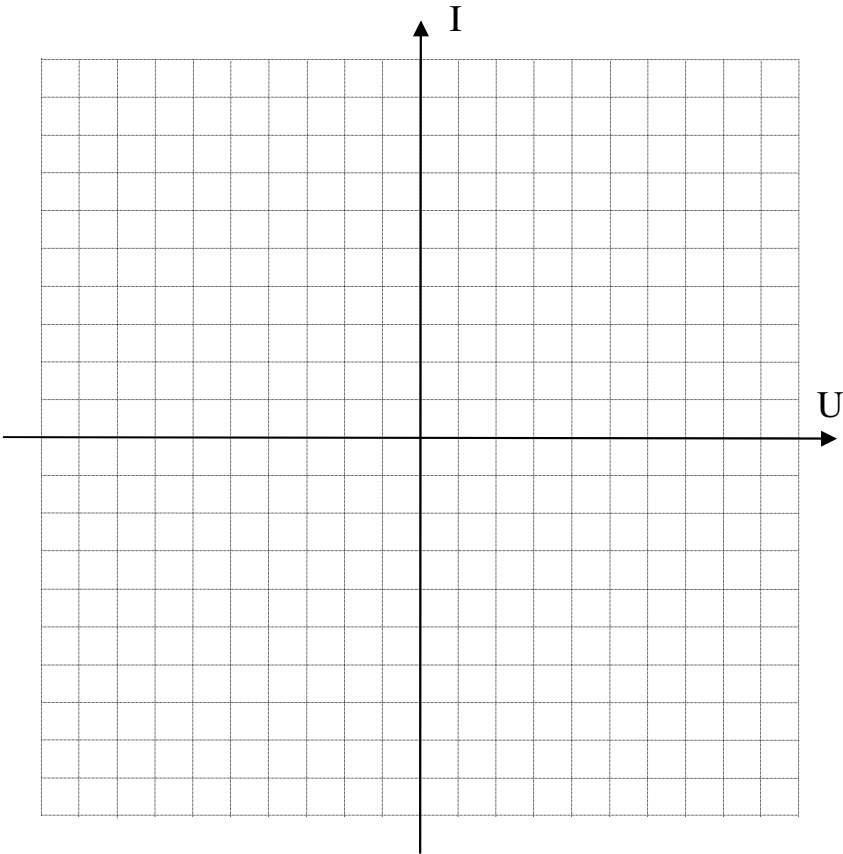
Ohne im Moment viel Worte darüber zu verlieren, wie genau eine Diode funktioniert, wollen wir gleich einmal eine solche ausmessen. Wir bedienen uns hierzu folgender Messschaltung:



Vorgehen bei der Messung:

- Beginne die Messung bei $U_b = 0$ V. Dort fliesst logischerweise noch kein Strom durch die Diode.
- Erhöhe nun die Spannung soweit, bis ein messbarer Strom fliesst (Achtung: $U_b =$ Spannung der Quelle maximal auf 5 V hochdrehen) Bei welcher Diodenspannung U_D ist dies der Fall?
- Erstelle von dieser Spannung an eine Tabelle, in der Spannung und Strom gegenübergestellt werden. Der Strom darf dabei maximal 50 mA betragen!
- Erstelle aus dieser Tabelle eine grafische Darstellung von Spannung und Strom. Zeichne die Spannung U_D in der X-Achse und I_D in die Y-Achse.
- Was passiert, wenn wir die Diode umkehren? mit welcher Veränderung in der Schaltung könnten wir auch sehr kleine Ströme messbar machen?

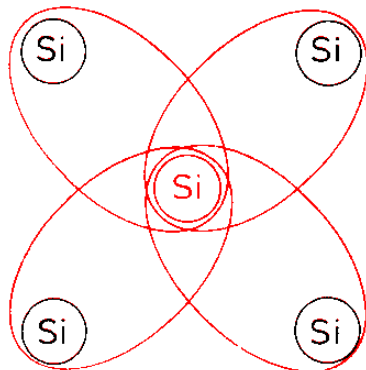
<i>Diode in Vorwärtsbetrieb</i>		<i>Diode in Rückwärtsbetrieb</i>	
Spannung U_D [mV]	Strom I_D [mA]	Spannung U_{Dr} [V]	Strom I_{Dr} [μA]



Halbleitermaterialien

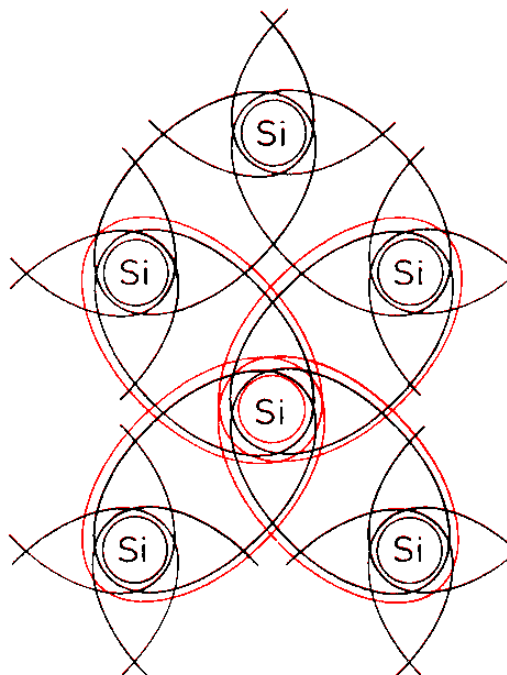
Wie das Wort schon sagt, sind Halbleiter schlechtere Leiter als Metalle, aber bessere wie Isolatoren. Nun, dies ist ein sehr weitläufiger Begriff. Ein anderer Ansatz ist es, das Ausgangsmaterial von Elektronischen Bauelementen als Halbleiter zu bezeichnen.

Für Halbleiterbauelemente wird heute meistens Silizium Si verwendet. Es ist vierwertig und bildet in reinsten, kristalliner Form je eine Paarbindung mit dem Nachbaratom. Dabei tauschen Nachbaratome ihre Elektronen gegenseitig aus wie das Bild zeigt:



Wir sehen wie die Elektronen jeweils um das mittlere und ein Eckatom kreisen. Es bilden sich ovale, aber stabile Bahnen, die Elektronen sind daher nicht wirklich frei, sondern an die Atome gebunden. Reine Halbleiter leiten also sehr schlecht.

Bei Temperaturzunahmen beginnen reine Halbleiter jedoch besser zu leiten, weil durch thermische Bewegung einzelne Elektronen freigesetzt werden.



Das untere Bild zeigt ein Ausschnitt aus einem ganzen Si-Kristall. Anhand der roten Linien sehen wir die Bindung der Elektronen an jeweils zwei Atome. Allerdings können sich Elektronen auch von Atom zu Atom hangeln. Aufgrund hoher elektrostatischer Kräfte werden aber entstehende Lücken rasch wieder durch eingefangene Elektronen gefüllt.

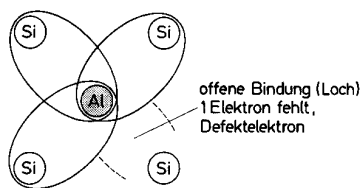
Interessant wird es, wenn wir Halbleiter dotieren. Dotieren heisst eigentlich impfen resp. verunreinigen. Wir nehmen dazu natürlich bestimmte Elemente um einen gewünschten Effekt zu erzielen.

Was für Elemente hierzu in Frage kommen, sehen wir in folgendem Auszug aus dem Periodensystem:

Gruppe 3 3 Valenz- elektronen	Gruppe 4 4 Valenz- elektronen	Gruppe 5 5 Valenz- elektronen
B Bor		
Al Aluminium	Si Silizium	P Phosphor
Ga Gallium	Ge Germanium	As Arsen
In Indium		Sb Antimon
Akzeptoren	Halbleiter	Donatoren

Wenn wir Silizium z.B mit dreiwertigem Aluminium verunreinigen, wird das Gefüge gestört. An einem Ort, wo Silizium sein sollte, ist nun ein Aluminiumatom, das nur 3 Valenzelektronen besitzt. Es fehlt also ein Elektron im idealen Gefüge. Anders gesagt, es ist ein Loch oder ein Platzhalter für ein Elektron im Gefüge vorhanden. Dies sieht wie folgt dargestellt aus:

P-Dotierung



Wir nennen diesen Vorgang eine **P-Dotierung**

Dieses Loch hat das Bestreben, ein Elektron aufzunehmen. Dann wäre die Verbindung mit den benachbarten Si-Atomen wieder ideal. Allerdings wird durch das Hinzukommen eines Elektrons das eigentlich elektrisch neutrale

Gefüge negativ, denn es ist ja jetzt ein Elektron zu viel da. Das Elektron kommt aber natürlich von irgendwo her, dort ist nun eines zuwenig, es ist dort positiver Ladungsüberschuss übrig geblieben. Diese Vorgänge wollen wir aber bei dem Zustandekommen der Diode noch näher betrachten!

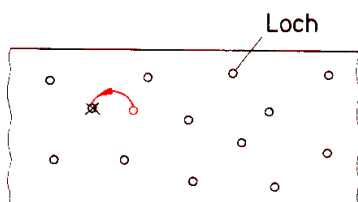


Bild 5.8 Löcherwanderung. Ein Elektron eines Nachbaratoms wird in die offene Bindung (Loch) gezwungen. Das Loch besteht jetzt beim Nachbaratom

Kann in einem p-dotierten Material ein Strom fließen? Die Antwort ist Ja!

Wie bereits gesagt: Ein Loch hat das Bestreben ein Elektron aufzunehmen. Kriegt es dieses aus der Nachbarschaft, so wird es dort fehlen, es gibt dort also jetzt eine Fehlstelle oder eben ein Loch. So können die Löcher wandern, und zwar in die entgegengesetzte Richtung wie die Elektronen.

Löcher wandern also von + zu -, wie es der technische Strom auch tut!

Legen wir also eine Spannung an ein solches Material an, so wandern die Löcher von + zu -. Tatsächlich bewegen tun sich aber eigentlich auch hier die Elektronen, die von Loch zu Loch hüpfen. Trotzdem sprechen wir von Löcherwanderung, weil diese ja dafür verantwortlich sind, dass es überhaupt freie Ladungsträger gibt.

Aber woher kommen hier freie Elektronen? Eine andere Interpretation der Fehlstelle ist, dass ein einzelnes Elektron zu viel im Si Atom ist, wenn das Loch nicht gefüllt wird. In diesem Fall gibt das Si das Elektron lieber her um stabiler zu werden. Mit diesem Elektron könnte an anderer Stelle natürlich ein Loch gefüllt werden. Je nach Löcherdichte ist das Material mehr oder weniger gut leitend.

N-Dotierung

Wir können den reinen Si-Kristall aber auch mit 5-Wertigem Phosphor verunreinigen. Damit realisieren wir eine **N-Dotierung**. Was geschieht jetzt? Wir haben im Gefüge eine andere Art Defekt: Wir benötigen für die Bindung mit den Nachbar-Si-Atomen insgesamt nur 4 Valenzelektronen, wir haben aber deren 5! Das 5. ist nun frei, und kann sich frei zwischen den Kristallatomen bewegen, denn es ist nicht an einer Paarbindung im Kristall gebunden. Auch hier gilt: Je mehr Phosphor dotiert wird, desto besser leitet das Halbleitermaterial, wie uns folgendes Bild zeigt:

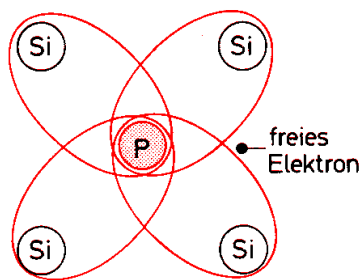


Bild 5.5 Einbau eines 5wertigen Phosphoratoms in das Kristallgitter

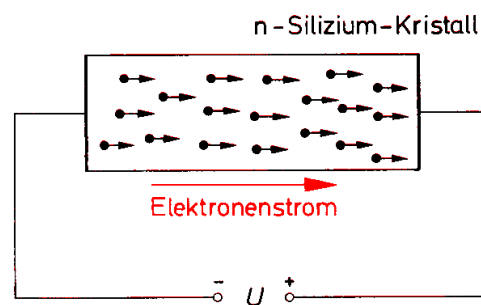


Bild 5.6 Elektronenstrom in einem n-Silizium-Kristall

Der Stromfluss kommt hier gleich zustande wie in Metallen: Freie, im Kristall nicht gebundene Elektronen dienen als Ladungsträger. In Metallen haben wir sehr viele solche freien Valenzelektronen. Im Halbleiter können wir die Anzahl freier Elektronen durch Dotierung selber bestimmen, womit wir sehr interessante Effekte erzeugen können.

In den folgenden Kapiteln werden wir sehen, wie wir aus N- und P-Dotiertem Material elektronische Bauteile erzeugen können und wie diese funktionieren.

Die Halbleiterdiode

Eine Diode entsteht durch das Verbinden von P- und N-Dotiertem Silizium. Früher wurden die beiden Materialien quasi einfach zusammengeschweisst. Heute können Dioden in Planartechnologie in hoher Packungsdichte erzeugt werden: Dioden werden durch verschiedene Maskierungs-, Dotierungs- und Verbindungsschritte direkt auf Siliziumscheiben realisiert.

Was passiert jetzt aber, wenn wir eine P- und eine N-Schicht zusammenführen?

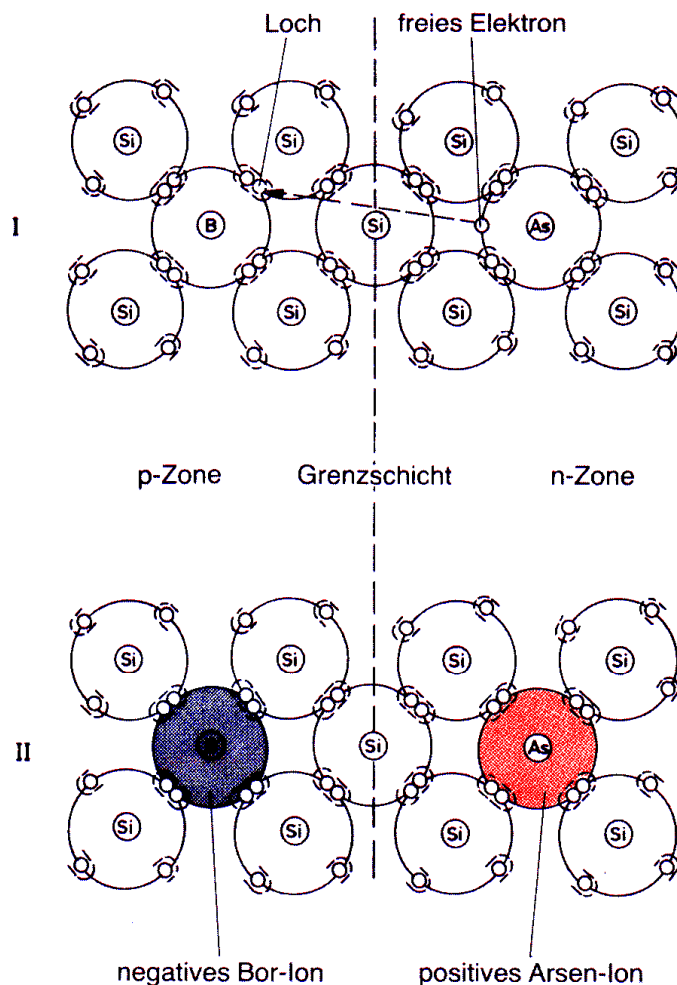


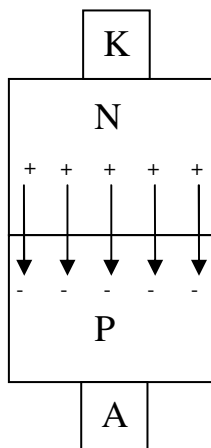
Bild 3.4

I Diffusion eines freien Elektrons durch die Grenzschicht

II Rekombination mit einem Loch und Entstehung positiver und negativer Ionen

An der Grenzschicht wandern einzelne der freien Elektronen in der N-Schicht hinüber ins P-Material und füllen dort ein Loch. Wir nennen diesen Effekt Elektronendiffusion. Damit entsteht ein Gleichgewicht, denn das Loch konnte gefüllt werden, und das überschüssige Elektron ist weg. Damit entsteht aber ein elektrostatisches Ungleichgewicht. Die N-Schicht wird positiv, die P-Schicht negativ. Da sich ungleichartige Ladungen anziehen, beschränkt sich dieser Austausch auf die unmittelbare Umgebung der Sperrschicht. Es entsteht eine Raumladungszone.

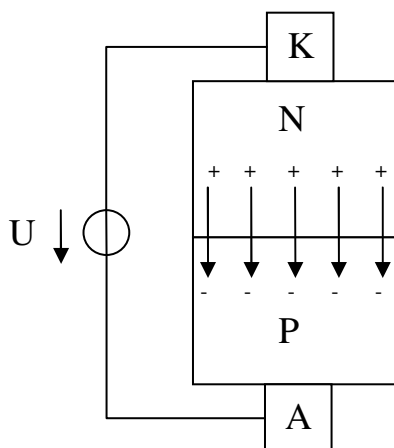
Durch die Ladungen entsteht in der Raumladungszone ein elektrisches Feld, das weitere Ladungsträger daran hindert, in die andere Schicht zu diffundieren.



Die Raumladungszone besitzt unter diesen Bedingungen keine freien Ladungsträger mehr. Die freien Elektronen sitzen ja nun in den Löchern, und weitere freie Elektronen von weiter weg können nicht in die Raumladungszone eindringen, weil sie das entstandene elektrische Feld dort daran hindert. Das Prinzipdiagramm nebenan zeigt uns diesen Effekt schematisch.

Es fließt also kein Strom. Nun, das ist nicht weiter erstaunlich, wenn wir berücksichtigen, dass wir ja gar keine Spannungsquelle angeschlossen haben.

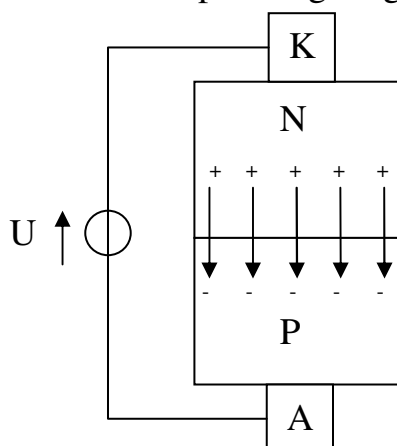
Was passiert aber, wenn wir das tun? Lasst uns dies im Prinzipschema betrachten:



Wenn wir an die Kathode der Diode, also an die N-Schicht eine positive Spannung anlegen, so ziehen wir dort weitere Elektronen ab. Das elektrische Feld in der Raumladungszone verstärkt sich, und es können wegen dem Feld keine freien Ladungsträger die Sperrschicht passieren.

Die Raumladungszone vergrößert sich, deswegen kann kein Strom fließen.

Wenn wir die Spannung umgekehrt anlegen sieht es anders aus:



Die P-Schicht wird nun gegenüber der N-Schicht positiv. Damit wird die Raumladungszone abgebaut. Wir sehen dies daran, dass die Felder der äusseren Spannung und das der Raumladungszone nun entgegengesetzt sind. Irgendwann ist die Raumladungszone vollständig abgebaut.

Es beginnt ein Strom zu fließen

Elektronen können nun von der Kathode her die N-Schicht passieren, geraten in die P-Zone, füllen dort Löcher, und wandern

schlussendlich zur Anode. Die Löcherwanderung geht natürlich in umgekehrter Richtung.

Was für Gesetze gelten, damit ein Strom fließen kann:

- Die angelegte Spannung muss richtig gepolt sein.
- Die Spannung muss genügend gross sein.

In Durchlassrichtung leitet die Diode gut, sie besitzt je nach Dotierung sehr kleine Innenwiderstände. Nicht zu vergessen ist die erforderliche Schliessenspannung: Bei der normalen Si-Diode beträgt sie ca. 0.7 V.

Die Diode in Schaltungen

Wenn wir Schaltungen mit Diode analysieren wollen, können wir natürlich nicht immer die Halbleiterttheorie zur Interpretation heranziehen. Wir setzen zum besseren Verständnis der Diode im praktischen Einsatz 1 Schaltzeichen ein, und vereinfachen die Diodenkennlinie soweit, dass wir eine Diode mit uns bekannten Bauelementen nachbauen können.

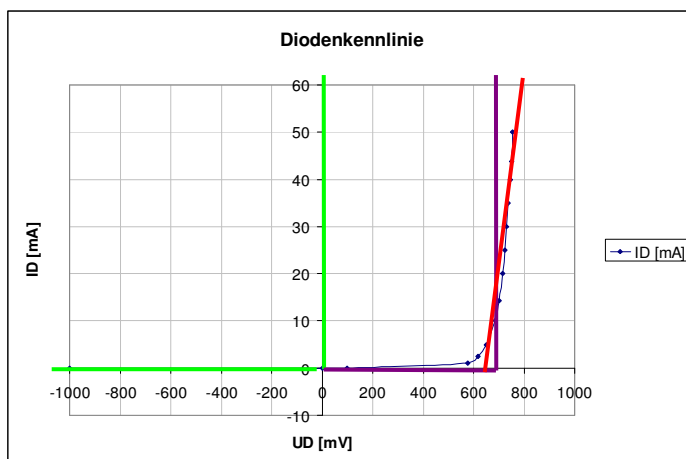
A



Das Schaltzeichen der Diode ist einfach zu interpretieren: Sie zeigt an, dass der Strom nur in eine Richtung durch sie fließen kann.

K

Wie vereinfachen wir nun die Diodenkennlinie? Eine ideale Diode würde



positive Ströme ohne Spannungsverlust durchlassen und negative abblocken.

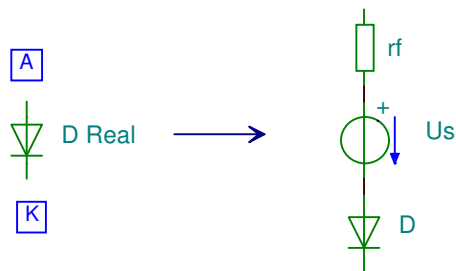
Dies entspricht leider nicht unseren realen Bauteilen.

Als einfachste Näherung können wir aber sagen, die Diode habe eine Schliessenspannung von 0.7 V.

Dies stimmt aber auch nicht, denn dann müsste die Kennlinie dort ganz steil nach oben führen.

Eine bessere Näherung ist, die Diode mit der Schliessenspannung und einem Innenwiderstand zu modellieren.

Dies ergibt dann die Ersatzschaltung für eine reale Diode, gebildet aus idealisierten Bauelementen:



Die Einzelemente haben folgende Aufgaben:

- Das Diodenzeichen zeigt an, dass nur ein Strom in die angegebene Richtung möglich ist.
- Die Spannung U_s stellt die Schleusenspannung dar, von der an ein Strom fließen kann.
- Der Widerstand r_f sagt aus, wie stark die Diodenspannung in Funktion vom Strom zunimmt.

Vorerst einmal soviel zur Theorie. Was wir jetzt brauchen ist Übung.

Wir beginnen mit Übungen aus dem Westermann:
S. 168/169 Nr. 1 – 4, 7, 9 - 13

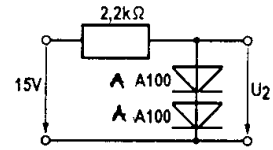
Wenn Du die Übungen gelöst hast, erstelle ein Schema mit mehreren Dioden und ev. Widerständen. Lasse Deine Kreativität walten! Denke Dir Deine Schaltung an positiver wie auch an negativer Spannung und berechne darin alle Potentiale. Nehme dazu an, dass die Schleusenspannung $U_s = 0.7 \text{ V}$ ist.

Gebe Deine Schaltung dem Nachbar und prüfe, ob er zum gleichen Schluss wie Du kommt.

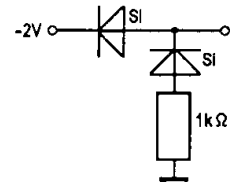
Viel Spass!

Abschlussübungen zur Vertiefung

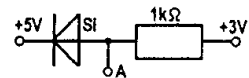
1. Wie gross ist die Ausgangsspannung U_2 in der nebenstehenden Schaltung
 D) 0,2 V E) 0,6 V F) 4,8 V G) 4,4 V H) 5 V



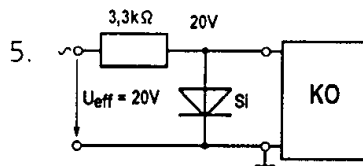
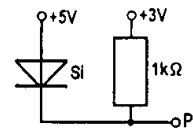
2. Wie gross ist der Diodenstrom?
 K) 0,2 mA L) 0,5 mA M) 0,8 mA
 N) 1,2 mA O) 1,5 mA P) 2 mA



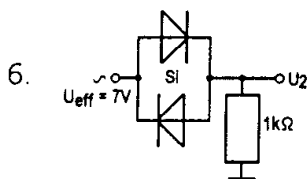
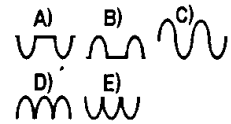
3. Welches Potenzial stellt sich am Punkt A ein?
 M) +5 V N) +4,4 V O) +3,6 V
 P) +3 V Q) +2,4 V R) +0,6 V



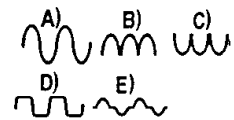
4. Wie gross ist das Potenzial am Messpunkt P?
 E) +5 V F) +4,4 V G) +3,6 V
 H) +3 V I) +2,4 V J) +0,6 V



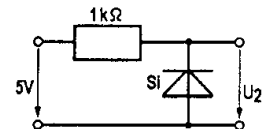
Welche der nebenstehenden, gemessenen Spannungsverläufe ist korrekt?



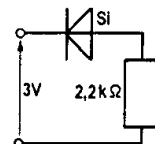
Welches der nebenstehenden KO-Bilder $U_2 = f(t)$ ist richtig?



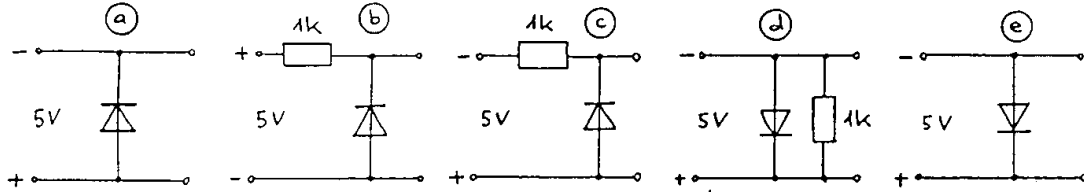
9. Wie gross ist die Ausgangsspannung U_2 ?
 A) 0 V B) 0,6 V C) 4,4 V
 D) 4,7 V E) 5 V



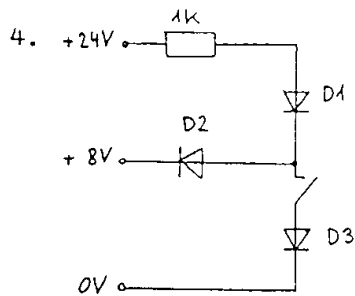
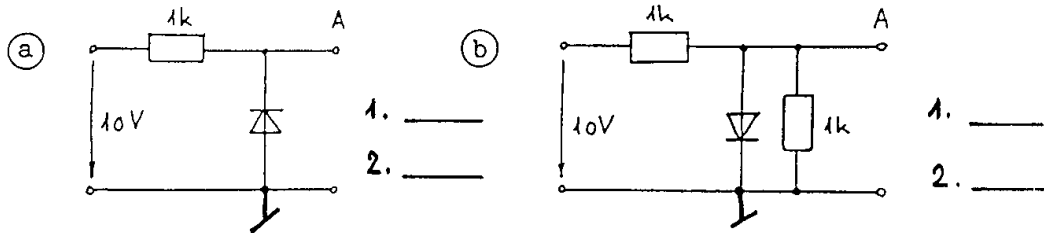
10. Wie gross ist der Diodenstrom?
 O) 3,2 μA P) 220 μA Q) 440 μA
 R) 1,1 mA S) 1,4 mA T) 3 mA



1. In welcher der fünf nachstehend gezeichneten Schaltungen ist die Diode gefährdet ?



2. In der Schaltung a wird 1. eine Ge - Diode und 2. eine Si - Diode eingesetzt. Welche Spannung wird vom Messpunkt A gegen Masse gemessen ? Welche Spannung misst man bei Schaltung b ?



Wie werden die Dioden D1 bis D3 betrieben ?

a) bei offenem Schalter

b) bei geschlossenem Schalter

Die Zenerdiode

Betrachtet man die Kennlinie einer Z-Diode, so erscheint sie auf den ersten Blick identisch mit der Kennlinie einer normalen Diode, wie uns Abbildung 1 zeigt.

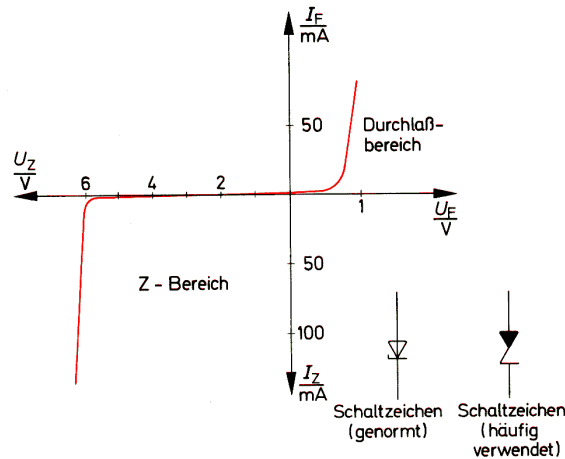


Abbildung 1

Im Durchlassbereich verhalten sich Zenerdioden wie normale Si-Dioden. Im Sperrbereich fließt zunächst der sehr kleine Sperrstrom. Bei Erreichen einer bestimmten Sperrspannung wird die Z-Diode sehr schnell leitend (scharfer Knick in der Kennlinie), d.h., der pn-Übergang wird in Sperrichtung niederohmig.

Wie wir aus der Kennlinie sehen, wächst bei steigendem Zenerstrom die Spannung U_Z nur unwesentlich an. Zenerdioden können wir deshalb zur Spannungsstabilisierung brauchen, und dies ist genau der interessante Einsatzbereich dieser Bauelemente.

Die Z-Diode wird immer in Sperrichtung betrieben.

Die Spannung, bei der in Sperrichtung der Strom zu fließen beginnt, wird als Z-Spannung U_Z bezeichnet. Je dünner der pn-Übergang der Z-Diode ist, desto niedriger ist die Z-Spannung.

Durch den Grad der Dotierung, kann der Hersteller die Dicke des pn-Überganges und damit die Z-Spannung bestimmen.

Man erhält Z-Dioden von ca. 1 V bis ca. 500 V.

Das Produkt aus Z-Spannung U_Z und Z-Strom I_Z ergibt die Verlustleistung P_V .

Da P_V in Wärme umgesetzt wird, darf der Z-Strom I_Z einen bestimmten Wert nicht überschreiten. Zur Strombegrenzung schaltet man in der Praxis einen Widerstand R_V in Reihe zur Z-Diode.

Laborversuch: Kennlinie der Zenerdiode

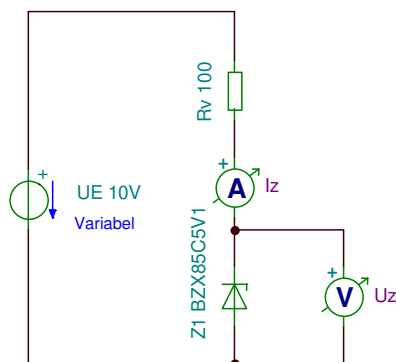
In diesem Versuch wollen wir die Kennlinie einer Zenerdiode ausmessen. Das Ergebnis dieses Versuches soll in einem **Laborbericht** festgehalten werden, in dem die Ausgangslage, die Überlegungen, der Lösungsansatz und die Lösung klar ersichtlich ist.

Grundsatz für den Bericht ist die Verständlichkeit für einen fachkundigen Berufskollegen. Wir werden mit der gemessenen Kurve weitere Erkenntnisse erarbeiten und verifizieren. Schreibe deshalb auch auf, welche Platine Du für den Versuch verwendet hast.

Aufgabenstellung:

Wir nehmen an, die Zenerdiode vertrage eine Verlustleistung von 0.5 W.

- Vorüberlegungen: Wir messen eine 5.1 V Zenerdiode aus. Wie gross darf der Strom maximal werden? Wie gross ist die maximale Verlustleistung am Vorwiderstand $R_V = 100 \Omega$? Verträgt der Widerstand im Experimentierboard diese Verlustleistung?
- Baue den Versuch gemäss Schema auf.



- Nehme die Kennlinie auf, indem Du zunächst eine Wertetabelle (Gegenüberstellung von Strom und Spannung) erstellst, und nachher die Kennlinie grafisch darstellst. Stelle dabei den Sperr- und Durchlassbereich dar.
- Entwerfe eine Schaltung, mit der die Kennlinie der Z-Diode direkt mit dem KO dargestellt werden kann, und probiere sie aus.

Viel Spass!

Warum eine Stabilisierung?

Wir können bereits mit einem Spannungsteiler eine kleinere Spannung wie die Versorgungsspannung erzeugen. Weshalb sollen wir dann überhaupt eine Z-Diode einsetzen? Ein Beispiel zeigt uns die Vorteile.

1. a) Berechne R_2 in der Schaltung nach Abbildung 2 so, dass $U_2 = 5.6 \text{ V}$ wird (ohne Belastung)

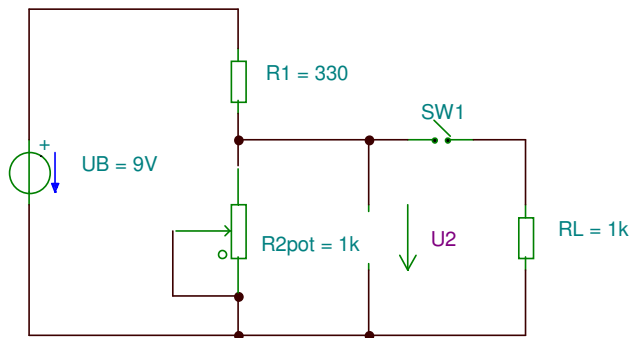


Abbildung 2

b) Auf welchen Wert sinkt U_2 bei Belastung mit R_L ?

c) Wie lässt sich der Effekt von Aufg. b verringern?

2. Die Zenerdiode in Abbildung 3 hat eine Zenerspannung von 5.6 V und einen Innenwiderstand $r_Z = 10 \Omega$. Wie gross ist in Abbildung 3 die Spannung U_2 ohne und mit Belastung R_L ?

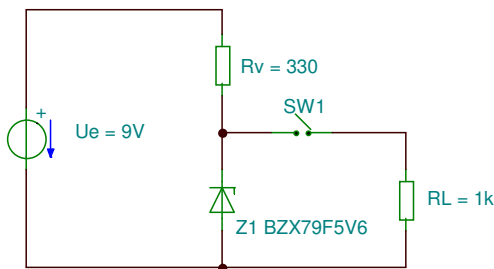
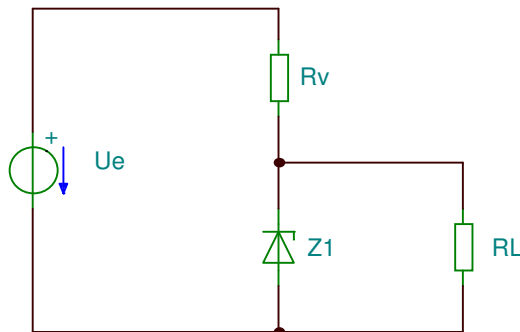


Abbildung 3

Spannungsstabilisierung mit Zenerdiode

Die Grundschaltung einer einfachen Spannungsstabilisierung mit Zenerdiode ist in Abb. 1 dargestellt.



U_E	= nicht stabilisierte Eingangsspannung
U_A	= stabilisierte Ausgangsspannung
U_{RV}	= Spannung am Vorwiderstand R_V
R_L	= Lastwiderstand
R_V	= Vorwiderstand
I_L	= mittlerer Laststrom
I_Z	= mittlerer Z-Strom
I_{ges}	= Strom über R_V ($I_{ges} = I_Z + I_L$)

Damit überhaupt eine Stabilisierung erfolgen kann, muss die Eingangsspannung U_E immer größer sein als U_Z .

In der Praxis macht man die Spannung U_E zwei- bis dreimal so gross wie U_Z . Soll die stabile Ausgangsspannung $U_A = 10\text{ V}$ betragen, so hat die Eingangsspannung U_E einen Wert von ca. 20 V bis 30 V.

Da die Differenzspannung von U_E minus U_A am Vorwiderstand R_V abfällt, muss R_V umso größer werden, je größer U_E .

Der Vorwiderstand R_V muss so bemessen sein, dass bei kleinstmöglicher U_E und maximalem I_L der kleinstzulässige Z-Strom $I_{Z\min}$ nicht unterschritten wird, da sonst keine Stabilisierung mehr möglich ist. Bei größtmöglicher U_E und minimalem I_L darf der maximal zulässige Z-Strom $I_{Z\max}$ nicht überschritten werden, da sonst die Diode zerstört werden könnte.

Aus diesem Zusammenhang zwischen U_E , I_L und I_Z kann der kleinst- und größtmögliche Wert von R_V berechnet werden. Der Widerstandswert des benötigten Vorwiderstandes muss dann innerhalb des errechneten Bereiches liegen.

$$R_V = \frac{U_{RV}}{I_{ges}} = \frac{U_E - U_Z}{I_L + I_Z}$$

→ Wenn U_E und R_L konstant bleiben

$$R_{V\max} = \frac{U_{E\min} - U_Z}{I_{L\max} + I_{Z\min}}$$

$$R_{V\min} = \frac{U_{E\max} - U_Z}{I_{L\min} + I_{Z\max}}$$

Beispiel zur Z-Dioden-Stabilisierung

In einer Stabilisierungsschaltung wird die Diode BZX 83 C 10 verwendet. Folgende Angaben zur Schaltung sind bekannt:

Maximale Verlustleistung der Diode: $P_{\text{tot}} = 500 \text{ mW}$ bei $T_U = 25^\circ \text{ C}$. Die Eingangsspannung beträgt $28 \text{ V} \pm 10 \%$. Der Laststrom schwankt zwischen 12 mA und 18 mA bei 10 V .

Zu berechnen ist der notwendige Vorwiderstand R_V !

Lösungsweg:

- I. Der maximale Z-Strom $I_{Z \text{ max}}$ kann mit Hilfe von P_{tot} und U_Z errechnet werden.

- II. In der Regel wird der minimale Z-Strom $I_{Z \text{ min}}$ mit $1/10$ von $I_{Z \text{ max}}$ eingesetzt, um den Knickbruch der Z-Diodenkennlinie zu vermeiden.

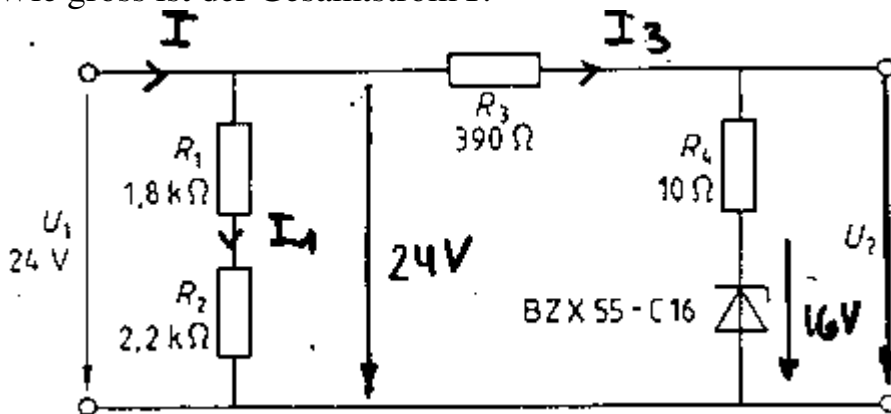
- III. Die Eingangsspannung beträgt $28 \text{ V} \pm 10 \%$, also schwankt zwischen $U_{E \text{ min}} = 25,2 \text{ V}$ und $U_{E \text{ max}} = 30,8 \text{ V}$. Die beiden Grenzwerte von R_V können nun errechnet werden, da $I_{L \text{ min}}$ und $I_{L \text{ max}}$ bekannt sind.

- IV. Aus der Normenreihe E 12 könnten somit folgende Werte eingesetzt werden:

Zur Stabilisierung wählt man den größten möglichen Wert, da hierbei die Leistung an der Z-Diode am kleinsten ist.

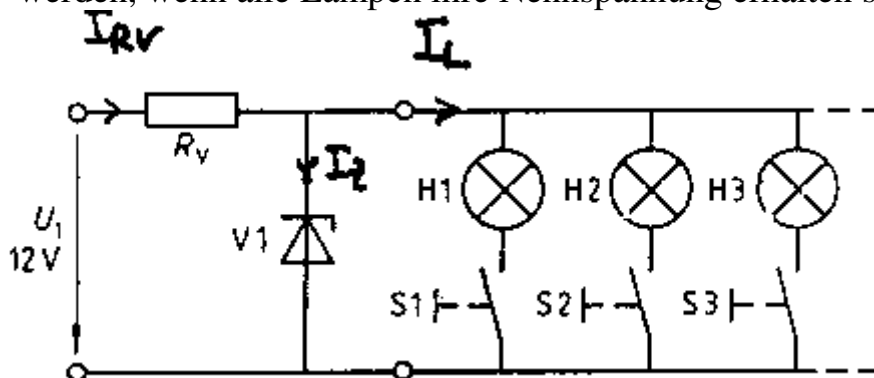
Weitere Übungen

1. Wie groß ist in der dargestellten Schaltung die Ausgangsspannung U_2 ?
Wie gross ist der Gesamtstrom I ?



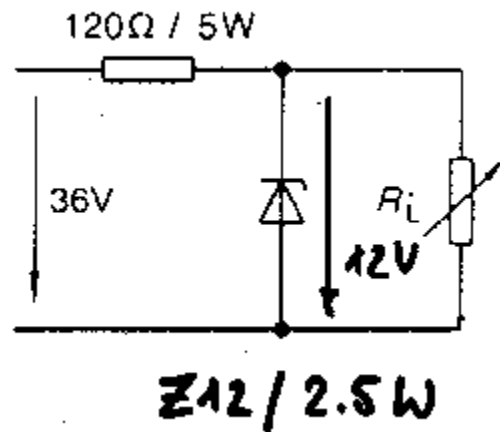
2. Die Z-Diode in der untenstehenden Stabilisierungsschaltung hat die Z-Spannung $U_z = 6,2 \text{ V}$ und die Verlustleistung $P_{\text{tot}} = 2 \text{ W}$.

- Berechne den kleinsten zulässigen Vorwiderstand.
- Wie viele Lampen ($6\text{V}/0,3\text{W}$) können an die Schaltung angeschaltet werden, wenn alle Lampen ihre Nennspannung erhalten sollen?



3. Mit der Z-Diode BZD 23/C12 mit $P_{\text{tot}} = 2,5 \text{ W}$ wird eine Versuchsschaltung zur Spannungsstabilisierung aufgebaut. Prüfe durch Rechnung nach, ob die Bauteile überlastet sind.

- bei Leerlauf ($R_{L1} = \infty \Omega$),
- bei Kurzschluss der Ausgangsklemmen ($R_{L2} = 0 \Omega$),
- bei dem Lastwiderstand $R_{L3} = 75 \Omega$.



4. Dimensioniere den Vorwiderstand R_V einer Stabilisierungsschaltung für folgende Angaben:

$$12 \text{ V} \leq U_E \leq 13.5 \text{ V}$$

$$U_Z = 5.1 \text{ V}$$

$$0 \text{ mA} \leq I_L \leq 50 \text{ mA}$$

$$I_{Z\text{max}} = 80 \text{ mA}$$

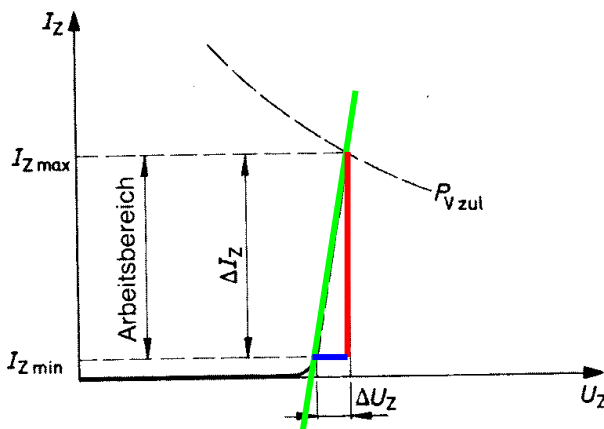
Differentieller Widerstand der Zenerdiode

Aus den gemessenen Kennlinien sehen wir, dass die Zenerspannung je nach Stromstärke ändert. Wie können wir die Kurve mit uns bekannten Elementen am einfachsten nachbilden?

Wir könnten auf die Idee kommen, die Zenerdiode durch einen Widerstand darzustellen und diesen mit der Formel $R = U_z/I_z$ zu berechnen. Wenn wir aber diese Berechnung mit einem kleinen und einem grossen Zenerstrom durchführen, werden wir bald feststellen, dass wir sehr unterschiedliche Werte für den Ersatzwiderstand erhalten. Dieses Modell ist folglich für uns nicht brauchbar.

Ein besseres Resultat liefert folgendes Vorgehen:

Wir legen die Tangente an die Zenerkurve und bestimmen die Steigung dieser Kurve.



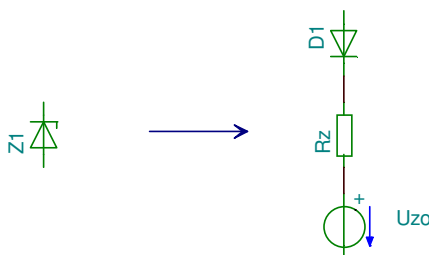
Mit dem Bestimmen der Steigung ermitteln wir den differentiellen Widerstand der Kennlinie. Differentielle Widerstände kennzeichnen wir mit Kleinbuchstaben.

$$r_z = \Delta U_z / \Delta I_z$$

Schauen wir uns dies einmal in der gezeigten Kennlinie an, und wenden das Vorgehen auf die individuellen Messkurven an: Wie gross ist der differentielle Widerstand eurer gemessenen Zenerdiode?

Was sagt der Schnittpunkt der Tangente mit der x-Achse (der Spannungsachse) aus?

Dies ist die (theoretische) Zenerspannung U_{z0} beim Strom $I_z = 0$.



Wir können die Zenerdiode durch unsere Überlegungen mit folgender Ersatzschaltung (= Modell) ersetzen.

Diode D1 verdeutlicht nur, dass die Schaltung nur Strom aufnehmen kann.

Diese Ersatzschaltung gilt nur, wenn die Z-Diode in Sperrrichtung betrieben wird.

Weitere Diodentypen: Gruppenarbeit

Es gibt noch viele andere Diodentypen, die für ganz unterschiedliche Aufgabengebiete eingesetzt werden. Einige von ihnen werden wir nun in einer Gruppenarbeit kennen lernen.

Aufgabe: Arbeitet Euch in Gruppen in die entsprechende Diode ein und erstellt ein Arbeitsblatt, mit dessen Hilfe die Diode erklärt werden kann. Bereitet auch einen kurzen Vortrag vor, wo Ihr Eure Erkenntnisse den anderen näher bringt.

Als Informationsmaterial dient das Vogel Fachbuch Grundlagen der Elektronik.

Das Zeitbudget für die Vorbereitung beträgt 45 Minuten.

PSN Leistungsdioden (S. 54 – 55)	David Ivan
Z-Dioden: Zener- und Lawineneffekt, Temperaturkoeffizienten, differentieller Widerstand (S. 56 – 59)	Lukas Jonas Raphael
Kapazitätsdiode (S. 78 – 79)	Dominique Timmi Nino
Shottky-Dioden (S. 84 – 86)	Fabio Fabrice
LED (S. 290 – 293)	Aaron Flavio Daniel

Viel Spass bei der Recherche!

Laborübung Zenerdioden

Wir wollen die bereits ausgemessene Zenerdiode in einer Stabilisierungsschaltung einsetzen. Dazu sind folgende Parameter gegeben.

- Zenerdiode 5.1 V resp. 5.6 V
- $U_E = 10 \text{ V}$
- $R_V = 1 \text{ k}\Omega$
- $R_L = 0 \dots 2 \text{ k}\Omega$ variabel

Messung:

Nehme die Ausgangsspannung U_L sowie die Ströme I_{ges} , I_Z und I_L der Stabilisierungsschaltung in Funktion vom Lastwiderstand R_L auf.

Halte die Schaltung, deren Funktionskurven und Deine Erkenntnisse in einem Laborbericht fest. Berechne die Kurve U_Z in Funktion vom Widerstand auch theoretisch, d.h. mit Deinem Fachwissen und der Diodenkurve.

Weitere Messungen:

Falls Du noch Zeit hast, kannst Du noch andere Stabilisierungseckdaten der Zenerdiodenschaltung ausfindig machen:

- Lasse den Lastwiderstand R_L weg und variiere dafür die Eingangsspannung U_E im Bereich von 5 .. 15 V. Nehme die Kennlinie $U_Z = f(U_E)$ auf.
- Hänge einen Lastwiderstand $R_L = 1 \text{ k}\Omega$ an. Nehme wie oben die Kennlinie $U_Z = f(U_E)$ auf und vergleiche mit obiger Übung.

Übung Zenerdiodenschaltungen

Bei den abgebildeten Schaltungen wird eine 5 V Zenerdiode eingesetzt.
Skizziere für die Schaltungen jeweils U_2 .

